

10/5-60247

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-307876

(43)Date of publication of application : 05.11.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/18
G11B 7/125

(21)Application number : 10-115048

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 24.04.1998

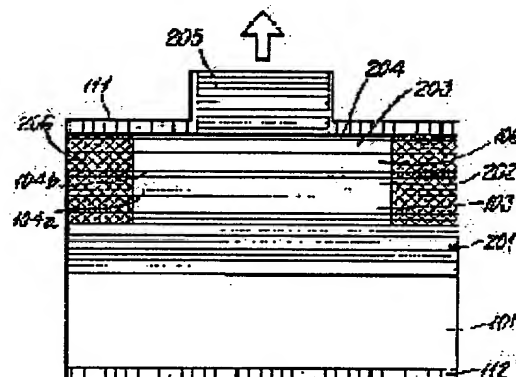
(72)Inventor : TAKAHASHI TAKASHI
SATO SHUNICHI**(54) SURFACE-EMITTING SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT, OPTICAL DISC RECORDING/PRODUCING DEVICE AND OPTICAL TRANSMITTER FOR PLASTIC OPTICAL FIBER****(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable high temp. high output operation at a specified visible range, by using a specified mixed crystal semiconductor contg. N as a component element in a light emitting layer.

SOLUTION: A lower reflection mirror 201, a light emitting layer 202 and an upper reflection mirror 205 are laminated on a crystal substrate 101 to form a surface-emitting semiconductor laser element for radiating a light in a direction perpendicular to the crystal substrate 101.

The light emitting layer uses an N-contg. $GaxIn_{1-x}NyP_{1-y}$ mixed crystal semiconductor as a component element, $GaxIn_{1-x}NyP_{1-y}$ is a 4-element mixed crystal material contg. N as a V group element introduced in a $GaxIn_{1-x}P$ 4-element mixed crystal, and the inhibition band of $GaxIn_{1-x}P$ is in the range of 1.35-2.24 eV for direct transition and when N is a little introduced in $GaxIn_{1-x}P$, its inhibition bandwidth reduces about 150 eV with 1% of the N compsn. Hence $GaxIn_{1-x}NyP_{1-y}$ enables the light emission at a 0.6 μm band. The

conductive band discontinuity to a barrier layer is high and hence the high temp. high output operation is enabled at the 0.6 μm band.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-307880

(43) 公開日 平成11年(1999)11月5日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

B

審査請求 未請求 請求項の数5 F D (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平10-123990

(22) 出願日 平成10年(1998)4月17日

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72) 発明者 高橋 孝志

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

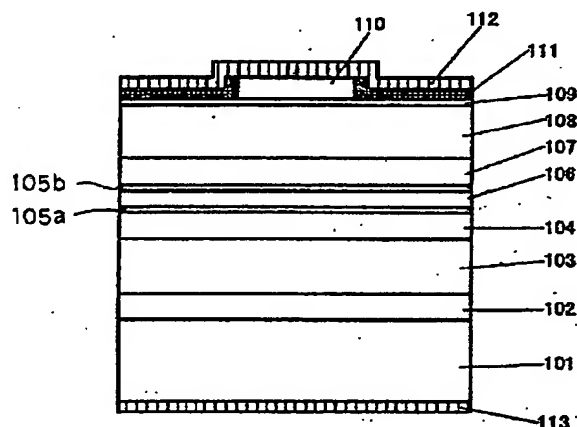
(74) 代理人 弁理士 植本 雅治

(54) 【発明の名称】 半導体発光装置

(57) 【要約】

【課題】 発光効率を向上させることの可能な AlGaInNP 系の半導体発光装置を提供する。

【解決手段】 n 型 GaAs 基板 101 上に、n 型 GaAs バッファ層 102、n 型 (Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P クラッド層 103、ノンドープ (Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P 下部光導波層 104、ノンドープ Ga_{0.5}In_{0.5}P 中間層 105a、ノンドープ Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99} 発光層 106、ノンドープ Ga_{0.5}In_{0.5}P 中間層 105b、ノンドープ (Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P 上部光導波層 107、p 型 (Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P クラッド層 108、p 型 Ga_{0.5}In_{0.5}P スパイク防止層 109、p 型 GaAs コンタクト層 110 が順に積層されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 GaAs基板上に、 $Ga_{1-x}In_xN_yP_{1-y}$ 混晶半導体からなる発光層と、 $(Al_{1-x}Ga_x)_{1-y}In_y$ Pクラッド層または光導波層または障壁層と、発光層とクラッド層または光導波層または障壁層との間に積層された、AlとNを含まないIII-V族半導体からなる中間層とを有する半導体発光装置であって、前記中間層は、GaAs基板と格子整合し、前記発光層はGaAs基板に対して圧縮歪を有していることを特徴とする半導体発光装置。

【請求項2】 GaAs基板上に、 $Ga_{1-x}In_xN_yP_{1-y}$ 混晶半導体からなる発光層と、 $(Al_{1-x}Ga_x)_{1-y}In_y$ Pクラッド層または光導波層または障壁層と、発光層とクラッド層または光導波層または障壁層との間に積層された、AlとNを含まないIII-V族半導体からなる中間層とを有する半導体発光装置であって、前記中間層はGaAs基板と格子整合し、前記発光層はGaAs基板に対して引張歪を有していることを特徴とする半導体発光装置。

【請求項3】 請求項1または請求項2記載の半導体発光装置において、 ΔE_v を窒素を添加することによる価電子帯のエネルギー準位の変化量とし、 ΔE_{strain} を歪を加えたことによる価電子帯のエネルギー準位の変化量とし、 ΔE_v をIII族元素組成を格子整合条件から変えたことによる価電子帯のエネルギー準位の変化量とすると、 $Ga_{1-x}In_xN_yP_{1-y}$ 混晶半導体からなる発光層が、 $\Delta E_v + \Delta E_{strain} + \Delta E_v > 0$ を満たすような組成を有していることを特徴とする半導体発光装置。

【請求項4】 GaAs基板上に、 $Ga_{1-x}In_xN_yP_{1-y}$ 混晶半導体からなる発光層と、 $(Al_{1-x}Ga_x)_{1-y}In_y$ Pクラッド層または光導波層または障壁層と、発光層とクラッド層または光導波層または障壁層との間に積層された、AlとNを含まないIII-V族半導体からなる中間層とを有する半導体発光装置であって、前記発光層にはp型不純物がドーピングされていることを特徴とする半導体発光装置。

【請求項5】 GaAs基板上に、 $Ga_{1-x}In_xN_yP_{1-y}$ 混晶半導体からなる発光層と、 $(Al_{1-x}Ga_x)_{1-y}In_y$ Pクラッド層または光導波層または障壁層と、発光層とクラッド層または光導波層または障壁層との間に積層された、AlとNを含まないIII-V族半導体からなる中間層とを有する半導体発光装置であって、少なくともn型クラッド層側に設けた中間層にはn型不純物がドーピングされていることを特徴とする半導体発光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ディスク等の書き込み装置などに利用可能な半導体発光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、発光波長680nm～630nm

のAlGaInP系材料を用いた半導体レーザ素子においては、伝導帯側のバンド不連続が小さいため、高温高出力動作が困難であることが知られている。高温高出力動作を実現するため、図7に示すような構造が提案されている(特開平08-307005)。図7の構造は、

(001)面を有するn型GaAs基板1上に、n型GaAsバッファ層2、n型AlGaInP光導波層3、膜厚7nmで歪量1.5%のアンドープGaInNP圧縮歪量子井戸層3層と膜厚4nmのアンドープAlGaInP無歪量子障壁層2層および量子井戸層両側に膜厚10nmとしたアンドープ無歪AlGaInP光分離閉じ込め層とで構成される多重量子井戸活性層4、p型AlGaInP光導波層5、p型AlGaInPエッチストップ層6、p型AlGaInP光導波層7、p型GaInP層8を、有機金属気相成長法により順次にエピタキシャル成長して構成されている。この後、ホトリソグラフィによりSiO₂マスクを形成し、ケミカルエッチングにより層6に至るまで層8と層7をエッチング除去してリッジストライプを形成する。次にSiO₂マスクを残したまま、n型GaAs電流狭窄層兼光吸収層9を選択成長する。さらにp型GaAsコンタクト層10を埋め込み成長した後、p電極11およびn電極12を蒸着する。さらに劈開スクライブして素子の形に切り出して、図7の断面構造を有する素子を得る。

【0003】図7の半導体レーザ素子においては、窒素を含有したGaInNP量子井戸層を用いることにより、伝導帯バンド不連続比を従来の0.5～0.6から0.8～0.9にまで増大させている。これにより、高温動作と高出力動作を改善している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、本願の発明者は、AlGaInP層上にGaInNP層を直接形成した半導体発光素子では、発光効率を十分高くすることは困難であることを見出し、そこで、図8のような構造を提案した。図8の構造では、n-GaAs基板21上に、順次に、n-GaAsバッファ層22、n-(Al_{1-x}Ga_x)_{1-y}In_yN_zP_{1-z}クラッド層(0<x<1、0<y<1、0<z<1)23、n-(Al_{1-x}Ga_x)_{1-y}In_yN_zP_{1-z}ガイド層(0<x<1、0<y<1、0<z<1)24、多重量子井戸構造部(MQW)25、p-(Al_{1-x}Ga_x)_{1-y}In_yN_zP_{1-z}ガイド層26、p-(Al_{1-x}Ga_x)_{1-y}In_yN_zP_{1-z}クラッド層27、p-GaAsコンタクト層28が形成されている。また、多重量子井戸部25は、ガイド層24、26と同組成の(Al_{1-x}Ga_x)_{1-y}In_yN_zP_{1-z}バリア29と、Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.01}P_{0.99}活性層30との境界毎にGa_{0.5}In_{0.5}P中間層31が挿入された構造となっている。また、図8では、コンタクト層28上に、さらに絶縁膜であるSiO₂層32とp側電極33が形成され、また素子の裏面にはn側電極34が形成されている。

【0005】図8の半導体レーザ素子においては、Ga_{0.51}In_{0.49}N_{0.01}P_{0.99} 活性層30と(Al_{0.2}Ga_{0.8})_{0.51}In_{0.49}Pバリア層29または(Al_{0.2}Ga_{0.8})_{0.51}In_{0.49}Pガイド層24、26との境界毎に、AlとNを含まないIII-V族半導体であるGa_{0.51}In_{0.49}P中間層31を挿入していることにより、結晶性の良好なGa_{0.51}In_{0.49}N_{0.01}P_{0.99} 活性層30を得ることができ、多重量子井戸構造の発光効率を増加させることができる。

【0006】ところで、V族元素がAsやPからなるII-V族半導体材料に対して窒素(N)をV族構成元素として導入すると、禁制帯幅の窒素組成に対するボーイングが大きく生じる。このため、比較的小さい窒素組成では、禁制帯幅が縮小する。このとき、禁制帯幅の縮小は主に伝導帯側で生じる。特に、III族元素としてAlを含まない場合には、価電子帯のバンド端は窒素を導入することによって、低エネルギー側にシフトする。そのため、GaInNP活性層と、窒素を除いて同一組成のGaInP中間層のバンドダイアグラムは、図1(a)に示すようなもの(タイプIIのもの)になってしまう。従って、特に低注入領域において、伝導帯電子と価電子帯正孔との重なり積分が小さくなり、発光効率が低いという問題があった。

【0007】本発明は、発光効率を向上させることの可能なAlGaInNP系の半導体発光装置を提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1記載の発明は、GaAs基板上に、Ga_xIn_{1-x}N_yP_{1-y} 混晶半導体からなる発光層と、(Al_{1-x}Ga_x)_{0.51}In_{0.49}Pクラッド層または光導波層または障壁層と、発光層とクラッド層または光導波層または障壁層との間に積層された、AlとNを含まないIII-V族半導体からなる中間層とを有する半導体発光装置であって、前記中間層は、GaAs基板と格子整合し、前記発光層はGaAs基板に対して圧縮歪を有していることを特徴としている。

【0009】また、請求項2記載の発明は、GaAs基板上に、Ga_xIn_{1-x}N_yP_{1-y} 混晶半導体からなる発光層と、(Al_{1-x}Ga_x)_{0.51}In_{0.49}Pクラッド層または光導波層または障壁層と、発光層とクラッド層または光導波層または障壁層との間に積層された、AlとNを含まないIII-V族半導体からなる中間層とを有する半導体発光装置であって、前記中間層はGaAs基板と格子整合し、前記発光層はGaAs基板に対して引張歪を有していることを特徴としている。

【0010】また、請求項3記載の発明は、請求項1または請求項2記載の半導体発光装置において、 ΔE_v を窒素を添加することによる価電子帯のエネルギー準位の変化量とし、 ΔE_{strain} を歪を加えたことによる価電子

帯のエネルギー準位の変化量とし、 ΔE_v をIII族元素組成を格子整合条件から変えたことによる価電子帯のエネルギー準位の変化量とするとともに、Ga_xIn_{1-x}N_yP_{1-y} 混晶半導体からなる発光層が、 $\Delta E_v + \Delta E_{strain} + \Delta E_c > 0$ を満たすような組成を有していることを特徴としている。

【0011】また、請求項4記載の発明は、GaAs基板上に、Ga_xIn_{1-x}N_yP_{1-y} 混晶半導体からなる発光層と、(Al_{1-x}Ga_x)_{0.51}In_{0.49}Pクラッド層または光導波層または障壁層と、発光層とクラッド層または光導波層または障壁層との間に積層された、AlとNを含まないIII-V族半導体からなる中間層とを有する半導体発光装置であって、前記発光層にはp型不純物がドーピングされていることを特徴としている。

【0012】また、請求項5記載の発明は、GaAs基板上に、Ga_xIn_{1-x}N_yP_{1-y} 混晶半導体からなる発光層と、(Al_{1-x}Ga_x)_{0.51}In_{0.49}Pクラッド層または光導波層または障壁層と、発光層とクラッド層または光導波層または障壁層との間に積層された、AlとNを含まないIII-V族半導体からなる中間層とを有する半導体発光装置であって、少なくともn型クラッド層側に設けた中間層にはn型不純物がドーピングされていることを特徴としている。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。本発明の第1の実施形態の半導体発光装置は、GaAs基板上に、Ga_xIn_{1-x}N_yP_{1-y} 混晶半導体からなる発光層と、(Al_{1-x}Ga_x)_{0.51}In_{0.49}Pクラッド層または光導波層または障壁層と、発光層とクラッド層または光導波層または障壁層との間に積層された、AlとNを含まないIII-V族半導体からなる中間層とを有しており、ここで、中間層はGaAs基板と格子整合し、発光層はGaAs基板に対して圧縮歪を有している。

【0014】化合物半導体からなるヘテロ構造におけるバンドオフセットの理論としては、Harrisonの強結合理論が広く知られている。また、化合物半導体層に圧縮歪を加えたときの伝導帯と価電子帯のバンド端シフト量 ΔE_c 、 ΔE_v は次式で表される。

【0015】

$$\begin{aligned} \Delta E_c &= -2a \{ (C_{11} - C_{12}) / C_{11} \} \varepsilon \\ \Delta E_v &= 2a' \{ (C_{11} - C_{12}) / C_{11} \} \varepsilon - b \{ (C_{11} + 2C_{12}) / C_{11} \} \varepsilon \end{aligned}$$

【0016】ここで、aは伝導帯の静水圧変形ポテンシャル、a'は価電子帯の静水圧変形ポテンシャル、bは軸性変形ポテンシャル、 ε は格子歪、 C_{11} 、 C_{12} は弾性定数である。

【0017】図2(a)には、上記のHarrison理論と圧縮歪によるエネルギー準位のシフトから求めた、GaAs基板上に圧縮歪Ga_xIn_{1-x}Pを形成したときの伝導帯

と価電子帯のエネルギーレベル E_c 、 E_v が示されている。なお、歪量のパラメータは、Ga組成量 x となる。図2(a)から、Ga組成 x を格子整合条件である $x=0.52$ よりも小さくして、膜に圧縮歪を有するようにしていくと、価電子帯のエネルギーレベル E_v がGaAs基板と格子整合している場合よりも高エネルギー側にシフトすることがわかる。従って、中間層としてGaAsと格子整合するGa_{0.5}In_{0.5}Pを用い、発光層として圧縮歪GaInNPを用いると、図1(b)に示すように、窒素を導入したことによる価電子帯バンド端のシフト量が補償されて、GaInP中間層との価電子帯バンド不連続が小さくなる。これにより、GaInNP発光層からGaInP中間層への正孔の漏れを小さくすることができ、発光効率を改善することができる。

【0018】また、本発明の第2の実施形態の半導体発光装置は、GaAs基板上に、Ga_{1-x}In_xNyP_{1-y}混晶半導体からなる発光層と、(Al_{1-x}Ga_x)_{1-z}In_zPクラッド層または光導波層または障壁層と、発光層とクラッド層または光導波層または障壁層との間に積層された、AlとNを含まないIII-V族半導体からなる中間層とを有しており、ここで、中間層はGaAs基板と格子整合し、発光層はGaAs基板に対して引張歪を有している。

【0019】化合物半導体の真空準位を基準とした伝導帯下端と価電子帯上端のエネルギーレベルについては、例えば文献「Appl. Phys. Lett., Vol. 60, No. 5, pp. 630-632 (1992)」からも知ることができる。また、化合物半導体層に引張歪を加えたときの伝導帯と価電子帯のバンド端シフト量 ΔE_c 、 ΔE_v は次式で表される。

【0020】

$$\begin{aligned} \text{【数2】 } \Delta E_c &= -2a \{ (C_{11} - C_{12}) / C_{11} \} \varepsilon \\ \Delta E_v &= 2a' \{ (C_{11} - C_{12}) / C_{11} \} \varepsilon + b \{ (C_{11} + 2C_{12}) / C_{11} \} \varepsilon \end{aligned}$$

【0021】図2(b)には、GaAs基板上に引張歪Ga_{1-x}In_xPを形成したときの伝導帯と価電子帯のエネルギーレベル E_c 、 E_v を求めた結果が示されている。なお、歪量のパラメータは、Ga組成量 x となる。図2(b)から、Ga組成 x を格子整合条件である $x=0.52$ よりも大きくして、膜に引張歪を有するようにしていくと、価電子帯のエネルギーレベル E_v がGaAs基板と格子整合している場合よりも高エネルギー側にシフトすることがわかる。従って、中間層としてGaAsと格子整合するGa_{0.5}In_{0.5}Pを用い、発光層として引張歪GaInNPを用いると、図1(c)に示すように、窒素を導入したことによる価電子帯バンド端のシフト量が補償されて、GaInP中間層との価電子帯バンド不連続が小さくなる。そのため、GaInNP発光層からGaInP中間層への正孔の漏れを小さくすることができ、発光効率を改善することができる。

【0022】なお、引張歪の場合には圧縮歪の場合とは

異なり、図2(b)からわかるように、伝導帯下端も高エネルギー側にシフトしている。引張歪GaInNP発光層の伝導帯下端が、格子整合GaInP中間層の伝導帯下端よりも上になってしまうと、逆に電子の閉じ込めが低下してしまうので、引張歪GaInNP発光層の伝導帯下端が、格子整合GaInP中間層の伝導帯下端よりも下に位置するように引張歪量、窒素組成を制御する必要がある。

【0023】また、上述の第1、第2の実施形態の半導体発光装置において、Ga_{1-x}In_xNyP_{1-y}混晶半導体からなる発光層は、次式を満たすような組成を有しているのが良い。

【0024】

$$\text{【数3】 } \Delta E_v + \Delta E_{\text{strain}} + \Delta E_v > 0$$

【0025】ここで、 ΔE_v は窒素を添加することによる価電子帯のエネルギー準位(レベル) E_v の変化量、 ΔE_{strain} は歪を加えたことによる価電子帯のエネルギー準位(レベル) E_v の変化量、 ΔE_v はIII族元素組成を格子整合条件から変えたことによる価電子帯のエネルギー準位(レベル) E_v の変化量である。

【0026】GaInNP発光層が上式(数3)を満たす場合には、格子整合GaInP中間層とヘテロ構造を形成させると、バンドダイアグラムは、図1(d)に示ようになる(タイプIのものになる)。この場合には、伝導帯電子と価電子帯正孔の両方がGaInNP発光層に集中するため、素子の発光効率を向上させることができる。

【0027】また、本発明の第3の実施形態の半導体発光装置は、GaAs基板上に、Ga_{1-x}In_xNyP_{1-y}混晶半導体からなる発光層と、(Al_{1-x}Ga_x)_{1-z}In_zPクラッド層または光導波層または障壁層と、発光層とクラッド層または光導波層または障壁層との間に積層された、AlとNを含まないIII-V族半導体からなる中間層とを有しており、ここで、発光層にはp型不純物がドーピングされている。

【0028】一般に、半導体層にp型不純物をドーピングすると、半導体層のフェルミ準位(E_F)は低エネルギー側にシフトする。ヘテロ接合では、フェルミ準位が一致するように接合されるため、注入キャリア密度がGaInNP発光層のp型ドーピング濃度よりも低い領域では、GaInNP発光層の価電子帯上端はノンドープの場合に比べて高エネルギー側にシフトする。そのため、GaInNP発光層の価電子帯上端と格子整合GaInP中間層の価電子帯上端のエネルギー準位とのバンド不連続は小さくなる。すなわち、GaInNP発光層の価電子帯上端は、格子整合GaInP中間層の価電子帯上端のエネルギー準位よりも上に位置するようになる(図1(e))。従って、p型不純物の低注入領域において、GaInNP発光層からGaInP中間層への正孔の漏れを小さくすることができ、これによって、発光効率を

改善することができる。

【0029】また、本発明の第4の実施形態の半導体発光装置は、GaAs基板上に、 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}_y\text{P}_{1-y}$ 混晶半導体からなる発光層と、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ クラッド層または光導波層または障壁層と、発光層とクラッド層または光導波層または障壁層との間に積層された、AlとNを含まないIII-V族半導体からなる中間層とを有しており、ここで、少なくともn型クラッド層側に設けられた中間層に、n型不純物がドーピングされている。

【0030】一般に、半導体層にn型不純物をドーピングすると、半導体層のフェルミ準位(E_F)は高エネルギー側にシフトする。ヘテロ接合では、フェルミ準位が一致するように接合されるため、注入キャリア密度がGaInN中間層のn型ドーピング濃度よりも低い領域では、GaInP中間層の価電子帯上端はノンドープの場合に比べて低エネルギー側にシフトする。そのため、GaInP中間層の価電子帯上端とGaInNP発光層との価電子帯バンド不連続は小さくなる。すなわち、GaInP中間層の価電子帯上端は、GaInNP発光層の価電子帯上端のエネルギー位置よりも下に位置するようになる(図1(f))。従って、低注入領域において、GaInNP発光層からGaInP中間層への正孔の漏れを小さくすることができる、これによって、発光効率を改善することができる。

【0031】

【実施例】実施例1

図3は実施例1の半導体発光装置(半導体レーザ素子)を示す図であり、実施例1(図3)は、本発明の第2の実施形態による半導体発光装置の具体例となっている。図3を参照すると、n型GaAs基板101上に、n型GaAsバッファ層102、n型 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ クラッド層103、ノンドープ $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 下部光導波層104、ノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層105a、ノンドープ $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ 発光層106、ノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層105b、ノンドープ $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 上部光導波層107、p型 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ クラッド層108、p型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ スパイク防止層109、p型GaAsコンタクト層110が順に積層されている。

【0032】ここで、各層の結晶成長方法としては、有機金属気相成長法を用いた。また、n型 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ クラッド層103の層厚は $1\mu\text{m}$ 、ノンドープ $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 下部光導波層104の層厚は $0.1\mu\text{m}$ 、ノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層105aの層厚は 2nm 、ノンドープ $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ 発光層106の層厚は 30nm 、ノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層105bの層厚は 2nm 、ノンドープ $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 上部光導

波層107の層厚は $0.1\mu\text{m}$ 、p型 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ クラッド層108の層厚は $1\mu\text{m}$ 、p型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ スパイク防止層109の層厚は 50nm 、p型GaAsコンタクト層110の層厚は 0.5nm とした。

【0033】そして、p型GaAsコンタクト層110を幅 $5\mu\text{m}$ のストライプ形状に残してエッチングした後、積層構造表面に SiO_2 絶縁膜111を堆積し、フォトリソグラフィ工程とエッチングによってp型GaAsコンタクト層110上の SiO_2 絶縁膜111を除去して電流注入領域を形成し、さらにその上に、p側オーミック電極112を蒸着した。また、n型GaAs基板101の裏面にはn側オーミック電極113を形成した。

【0034】図3の半導体レーザ素子では、Alを構成元素として含むノンドープ $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 光導波層104、107と、Nを構成元素として含むノンドープ $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ 発光層106との間に、AlとNを構成元素として含まないノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層105a、105bが挿入されている。これにより、ノンドープ $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ 発光層106の結晶性を改善して、発光層の発光効率を向上させている。

【0035】さらに、ノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層105a、105bは、GaAs基板101に対して格子整合する組成となっており、ノンドープ $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ 発光層106は、基板101に対して、0.6%の引張歪を有している。格子整合した $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層105a、105bに窒素(N)を1%導入すると、禁制帯幅は約 150meV 縮小し、価電子帯上端のエネルギー準位は約 18meV のレベル分 ΔE_v だけ低下する($\Delta E_v = 18\text{meV}$)。一方、GaInPの組成を変えて引張歪を有するようにした場合には(すなわち、例えば $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ とした場合には)、図2(b)より、 $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ の価電子帯上端のエネルギー準位は $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ に比べて、約 34meV 上昇する($\Delta E_{\text{strain}} + \Delta E_v = 34\text{meV}$)。従って、 $\Delta E_v + \Delta E_{\text{strain}} + \Delta E_v > 0$ を満足しており、ノンドープ $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ 発光層106の価電子帯上端は、ノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層105a、105bの価電子帯上端よりも上に位置するようになる(図1(d))。

【0036】また、ノンドープ $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ 発光層106の伝導帯下端のエネルギー準位は、ノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層105a、105bの伝導帯下端よりも約 80meV 低下する(図1(d))。これにより、ノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層105a、105bとノンドープ $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ 発光層106のDH構造(ダブルヘテロ接合構造)はタイプIになる。従って、伝導帯電子と価電子帯正孔の両方

がノンドープ $Ga_{0.5}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層106に集中するため、発光効率が向上する。

【0037】このように、実施例1では、中間層として $GaAs$ と格子整合する $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ を用い、発光層として引張歪 $GaInNP$ を用いているため、窒素(N)を導入したことによる価電子帯バンド端のシフト量が補償されて、 $GaInP$ 中間層との価電子帯バンド不連続が小さくなり、これによって、 $GaInNP$ 発光層から $GaInP$ 中間層への正孔の漏れを小さくすることができ、発光効率を改善することができる。

【0038】実施例2

図4は本発明の実施例2の半導体発光装置(半導体レーザ素子)を示す図であり、実施例2(図4)は、本発明の第1の実施形態の具体例となっている。図4において、発光層以外の構造は実施例1と同様にして形成した。すなわち、図4を参照すると、ノンドープ($Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$ 下部光導波層104上には、層厚2nmのノンドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層105a、層厚30nmのノンドープ $Ga_{0.45}In_{0.55}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層201、層厚2nmのノンドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層105b、ノンドープ($Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$ 上部光導波層107が順に積層されている。

【0039】図4の半導体レーザ素子では、Alを構成元素として含むノンドープ($Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$ 光導波層104、107と、Nを構成元素として含むノンドープ $Ga_{0.45}In_{0.55}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層201との間に、AlとNを構成元素として含まないノンドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層105a、105bを設けていることにより、ノンドープ $Ga_{0.45}In_{0.55}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層201の結晶性が改善され、発光効率を向上させている。

【0040】さらに、ノンドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層105a、105bは、 $GaAs$ 基板101に対して格子整合する組成となっており、ノンドープ $Ga_{0.45}In_{0.55}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層201は基板に対して、約0.5%の圧縮歪を有している。格子整合した $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ にNを1%導入すると、禁制帯幅は約150meV縮小し、価電子帯上端のエネルギー準位は約18meVのレベル分 ΔE_v だけ低下する($\Delta E_v = 18meV$)。一方、 $GaInP$ の組成を変えて圧縮歪を有するようにした場合には(すなわち、例えば $Ga_{0.45}In_{0.55}P$ とした場合)は、図2(a)より、 $Ga_{0.45}In_{0.55}P$ の価電子帯上端のエネルギー準位は $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ に比べて、約33meV上昇する($\Delta E_{strain} + \Delta E_v = 33meV$)。従って、 $\Delta E_v + \Delta E_{strain} + \Delta E_v > 0$ を満足しており、ノンドープ $Ga_{0.45}In_{0.55}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層201の価電子帯上端は、ノンドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層105a、105bの価電子帯上端よりも上に位置するようになる(図1(d))。

【0041】また、ノンドープ $Ga_{0.45}In_{0.55}N_{0.01}$

$P_{0.99}$ 発光層201の伝導帯下端のエネルギー準位は、ノンドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層105a、105bの伝導帯下端よりも下に位置する(図1(d))。従って、ノンドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層105a、105bとノンドープ $Ga_{0.45}In_{0.55}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層201のDH構造(ダブルヘテロ接合構造)はタイプIになる。従って、伝導帯電子と価電子帯正孔の両方がノンドープ $Ga_{0.45}In_{0.55}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層201に集中するため、発光効率が向上する。

10 【0042】このように、実施例2では、中間層として $GaAs$ と格子整合する $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ を用い、発光層として圧縮歪 $GaInNP$ を用いているため、窒素(N)を導入したことによる価電子帯バンド端のシフト量が補償されて、 $GaInP$ 中間層との価電子帯バンド不連続が小さくなり、これによって、 $GaInNP$ 発光層から $GaInP$ 中間層への正孔の漏れを小さくすることができ、発光効率を改善することができる。

【0043】実施例3

図5は本発明の実施例3の半導体発光装置(半導体レーザ素子)を示す図であり、実施例3(図5)は、本発明の第3の実施形態の具体例となっている。図5において、発光層以外の構造は実施例1と同様にして形成した。すなわち、図5を参照すると、ノンドープ($Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$ 下部光導波層104上には、層厚2nmのノンドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層105a、層厚30nmのMgドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層301、層厚2nmのノンドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層105b、ノンドープ($Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$ 上部光導波層107が積層されている。ここで、Mgドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層301のMgドーピング濃度は $2 \times 10^{18} cm^{-3}$ とした。

【0044】 $Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.01}P_{0.99}$ にp型不純物であるMgをドーピングすると、フェルミ準位が低エネルギー側にシフトする。ヘテロ接合では、フェルミ準位が一致するように接合されるため、注入キャリア密度がMgドーピング濃度よりも低い領域では、Mgドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層301の価電子帯上端はノンドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.01}P_{0.99}$ の場合に比べて高エネルギー側にシフトする。これにより、Mgドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層301の価電子帯上端はノンドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層105との価電子帯バンド不連続が小さくなる。すなわち、Mgドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層301の価電子帯上端はノンドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層105の価電子帯上端のエネルギー準位よりも上に位置するようになる(図1(e))。従って、特に低注入領域において、Mgドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層301からノンドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層105a、105bへの正孔の漏れを小さくすることができ、発光効率を改善することができる。

【0045】実施例4

図6は本発明の実施例4の半導体発光装置(半導体レーザ素子)を示す図であり、実施例4(図6)は、本発明の第4の実施形態の具体例となっている。図6において、発光層近傍以外の構造は実施例1と同様に形成した。すなわち、図6を参照すると、ノンドープ($\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}$) $\text{In}_{0.5}\text{P}$ 下部光導波層104上には、層厚2nmのSiドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層401、層厚30nmのノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ 発光層402、層厚2nmのノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層105b、ノンドープ($\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}$) $\text{In}_{0.5}\text{P}$ 上部光導波層107が積層されている。ここで、Siドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層401のSiドーピング濃度は $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした。

【0046】 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ にn型不純物であるSiをドーピングすると、フェルミ準位が高エネルギー側にシフトする。ヘテロ接合では、フェルミ準位が一致するように接合されるため、注入キャリア密度がSiドーピング濃度よりも低い領域では、Siドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層401の価電子带上端はノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ の場合に比べて低エネルギー側にシフトする。これにより、Siドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層401の価電子带上端はノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ 発光層402との価電子帯バンド不連続が小さくなる。すなわち、Siドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層401の価電子带上端はノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ 発光層402の価電子帯上端のエネルギー位置よりも下に位置するようになる(図1(f))。従って、特に低注入領域において、ノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ 発光層402からSiドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中間層401への正孔の漏れを小さくすることができ、発光効率を改善することができる。

【0047】

【発明の効果】以上に説明したように、請求項1記載の発明によれば、GaAs基板上に、 $\text{Ga}_{x}\text{In}_{1-x}\text{N}_y\text{P}_{1-y}$ 混晶半導体からなる発光層と、($\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}$) In_{1-y}P クラッド層または光導波層または障壁層と、発光層とクラッド層または光導波層または障壁層との間に積層された、AlとNを含まないIII-V族半導体からなる中間層とを有する半導体発光装置であって、前記中間層は、GaAs基板と格子整合し、前記発光層はGaAs基板に対して圧縮歪を有しているため、発光層から中間層への正孔の漏れを小さくすることができ、発光効率を改善することができる。

【0048】また、請求項2記載の発明によれば、GaAs基板上に、 $\text{Ga}_{x}\text{In}_{1-x}\text{N}_y\text{P}_{1-y}$ 混晶半導体からなる発光層と、($\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}$) In_{1-y}P クラッド層または光導波層または障壁層と、発光層とクラッド層または光導波層または障壁層との間に積層された、AlとNを含まないIII-V族半導体からなる中間層とを有する半

導体発光装置であって、前記中間層はGaAs基板と格子整合し、前記発光層はGaAs基板に対して引張歪を有しているため、発光層から中間層への正孔の漏れを小さくすることができ、発光効率を改善することができる。

【0049】また、請求項3記載の発明によれば、請求項1または請求項2記載の半導体発光装置において、 ΔE_v を窒素を添加することによる価電子帯のエネルギー準位の変化量とし、 ΔE_{strain} を歪を加えたことによる価電子帯のエネルギー準位の変化量とし、 ΔE_v をIII族元素組成を格子整合条件から変えたことによる価電子帯のエネルギー準位の変化量とするときに、 $\text{Ga}_{x}\text{In}_{1-x}\text{N}_y\text{P}_{1-y}$ 混晶半導体からなる発光層が、 $\Delta E_v + \Delta E_{\text{strain}} + \Delta E_v > 0$ を満たすような組成を有しているため、 GaInNP 発光層と格子整合 GaInP 中間層とでヘテロ構造を形成すると、バンドダイアグラムがタイプIになり、伝導帯の電子と価電子帯の正孔との両方が GaInNP 発光層に集中し、素子の発光効率を向上させることができる。

【0050】また、請求項4記載の発明によれば、 $\text{Ga}_{x}\text{In}_{1-x}\text{N}_y\text{P}_{1-y}$ 発光層にはp型不純物がドーピングされているため、注入キャリア密度が GaInNP 発光層のp型ドーピング濃度よりも低い領域では、 GaInNP 発光層の価電子帯上端はノンドープの場合に比べて高エネルギー側にシフトし、従って、低注入領域において、p型ドープ GaInNP 発光層から GaInP 中間層への正孔の漏れを小さくすることができ、発光効率を改善することができる。

【0051】また、請求項5記載の発明によれば、少なくともn型クラッド層側に設けた中間層にはn型不純物がドーピングされているため、注入キャリア密度が中間層のn型ドーピング濃度よりも低い領域では、中間層の価電子帯上端はノンドープの場合に比べて低エネルギー側にシフトし、従って、低注入領域において、 GaInNP 発光層からn型ドープ中間層への正孔の漏れを小さくすることができ、発光効率を改善することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】各半導体発光装置の GaInP 中間層と GaInNP 発光層のバンドダイアグラムを示す図である。

【図2】GaAs基板上の $\text{Ga}_{x}\text{In}_{1-x}\text{P}$ 層の伝導帯と価電子帯のエネルギー準位を示す図である。

【図3】本発明の実施例1による半導体発光装置を示す図である。

【図4】本発明の実施例2による半導体発光装置を示す図である。

【図5】本発明の実施例3による半導体発光装置を示す図である。

【図6】本発明の実施例4による半導体発光装置を示す図である。

【図7】従来の半導体発光素子を示す図である。

【図8】従来の半導体発光素子を示す図である。

【符号の説明】

- 101 n型GaAs基板
 102 n型GaAsバッファ層
 103 n型 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}$
 Pクラッド層
 104 ノンドープ $(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}$ P下部光導波層
 105a, 105b ノンドープGa_{0.5}In_{0.5}
 P中間層
 106 ノンドープGa_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}
 P_{0.99} 発光層
 107 ノンドープ $(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}$ P上部光導波層
 108 p型 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}$ *

* Pクラッド層

- 109 止層
 110 p型GaAsコンタクト層
 111 SiO₂絶縁膜
 112 p側オーミック電極
 113 n側オーミック電極
 201 ノンドープGa_{0.45}In_{0.55}N
 0.01 P_{0.99} 発光層
 10 301 P_{0.99} 発光層
 401 層
 402 P_{0.99} 発光層

p型Ga_{0.5}In_{0.5} Pスパイク防

p型GaAsコンタクト層

SiO₂絶縁膜

p側オーミック電極

n側オーミック電極

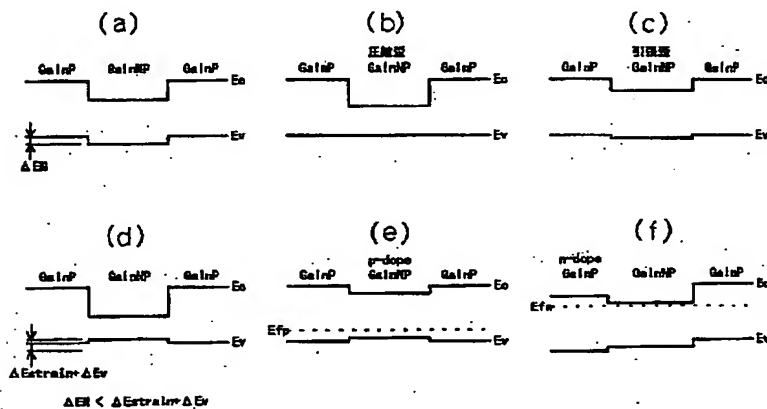
ノンドープGa_{0.45}In_{0.55}N

MgドープGa_{0.5}In_{0.5}N_{0.01}

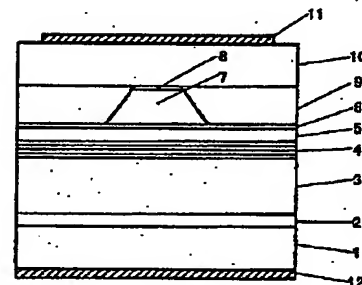
SiドープGa_{0.5}In_{0.5} P中間

ノンドープGa_{0.5}In_{0.5}N_{0.01}

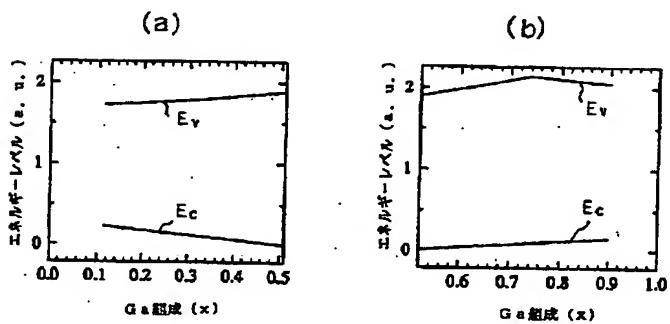
【図1】



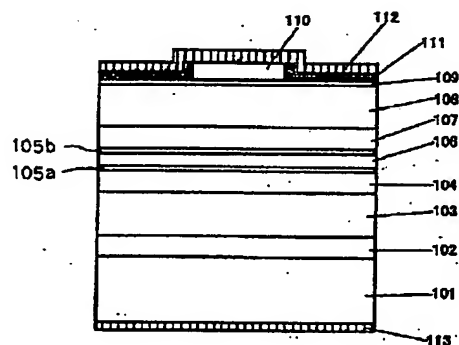
【図7】



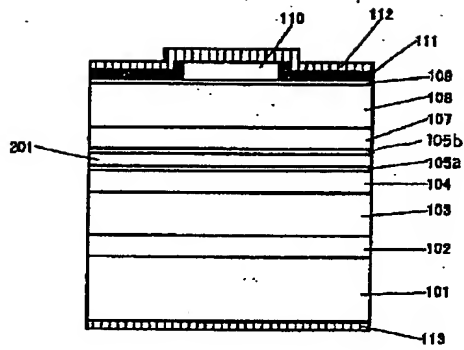
【図2】



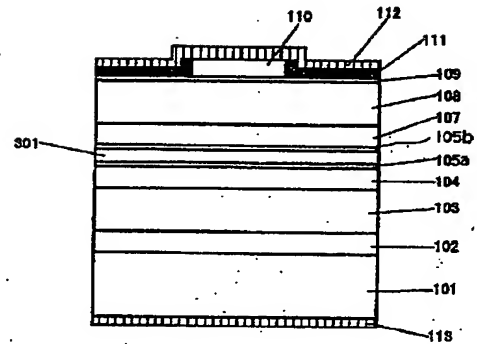
【図3】



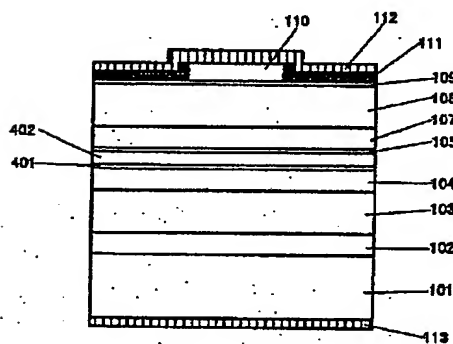
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【図 8】

